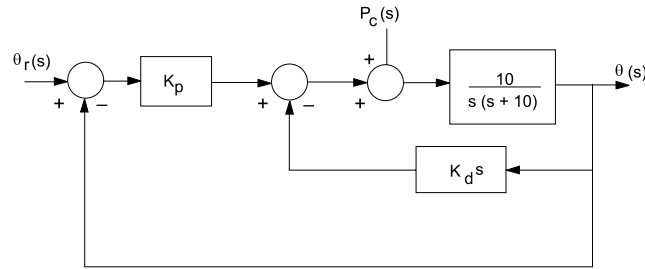


20 - AUTOMAÇÃO E CONTROLE

O diagrama de blocos da Figura 1 representa um sistema de controle de posição. Ele controla um motor de corrente contínua, representado na mesma figura por seu modelo simplificado de segunda ordem. A velocidade angular do eixo do motor é medida por um tacômetro, permitindo, assim, implementar o controlador PD com o termo derivativo na malha interna.

Figura 1



a) Encontre as expressões para as duas funções de transferência seguintes:

(valor: 4,0 pontos)

$$T(s) = \frac{\theta(s)}{\theta_r(s)} \quad e \quad S(s) = \frac{\theta(s)}{P_c(s)}$$

b) Calcule os valores dos parâmetros do controlador (K_p e K_d) que permitem obter um sistema em malha fechada com o seguinte par de pólos complexos conjugados:

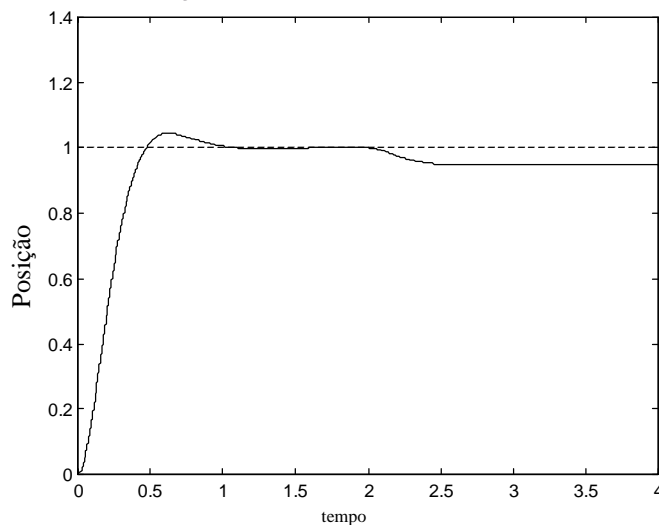
(valor: 2,0 pontos)

$$p_{1,2} = -6 \pm j 6$$

c) O gráfico da Figura 2, abaixo, mostra a evolução temporal da posição angular (θ) nas seguintes condições:

- os ganhos apresentam os valores: $K_p = 5$ e $K_d = 0$;
- um degrau unitário foi aplicado na entrada de referência em $t = 0$ segundo;
- uma perturbação de carga, na forma de um degrau de amplitude -0.25 , foi aplicada em $t = 2$ segundos.

Figura 2



Com base no comportamento dinâmico da saída (θ) com relação às entradas de referência (θ_r) e de perturbação (P_c) utilizadas, justifique por que o erro de posição em regime permanente é nulo na ausência da perturbação e diferente de zero na presença da perturbação, conforme evidenciado no gráfico da Figura 2.

(valor: 4,0 pontos)

Dados / Informações Técnicas

$\theta(s)$: posição angular do eixo do motor (rad)

$\theta_r(s)$: posição angular de referência (rad)

$W(s)$: velocidade angular (rad/s)

$V_a(s)$: tensão aplicada à armadura (volts)

$P_c(s)$: torque (perturbação) de carga aplicado ao eixo do motor (N.m)

Erro de posição: $E(s) = \theta_r(s) - \theta(s)$

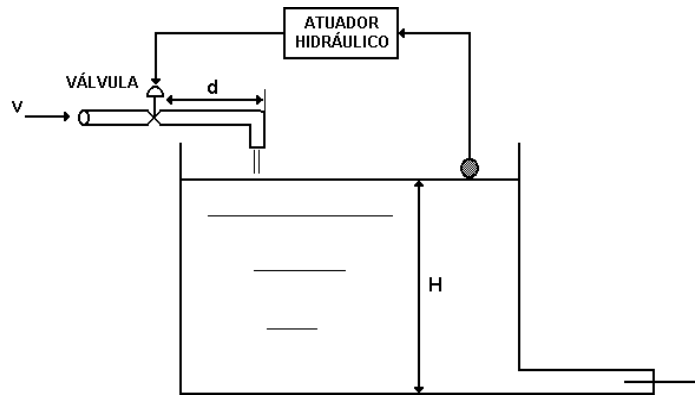
Expressão da propriedade conhecida como teorema do valor final:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s)$$

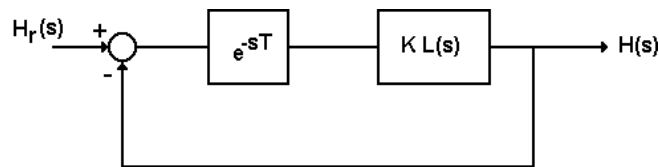
21 - AUTOMAÇÃO E CONTROLE

Considere o sistema de controle de nível representado na figura a seguir. A distância (d), existente entre a válvula de ajuste e a saída do fluido, introduz um atraso de transporte de T segundos no sistema de controle, dado por:

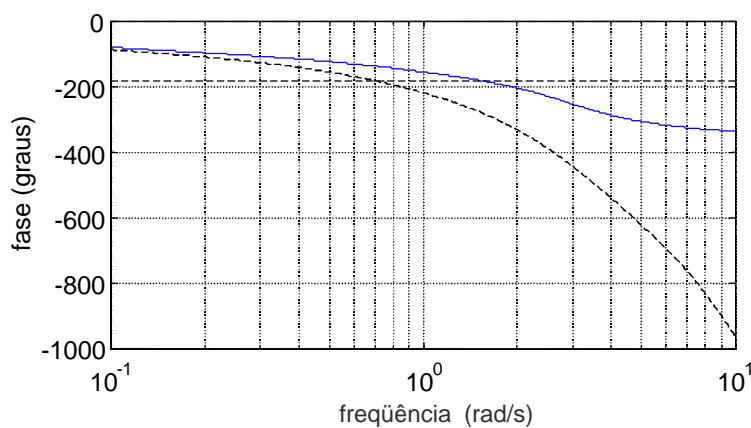
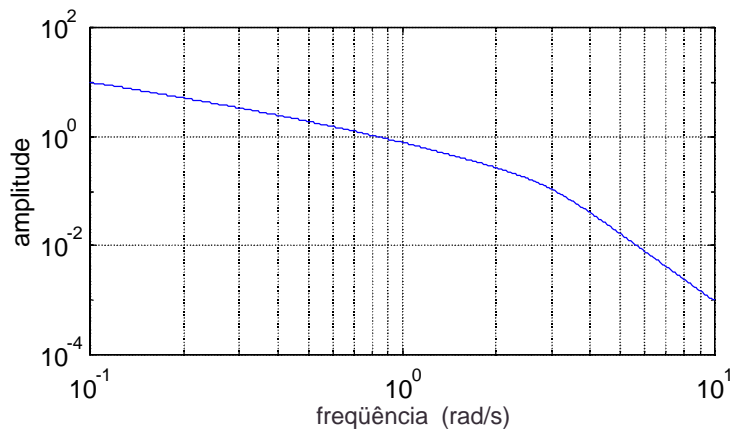
$$T = \frac{d}{v}$$



Devido ao atraso de transporte, o sistema de controle pode ser representado pelo diagrama de blocos a seguir, onde $L(s)$ é o ganho de malha correspondente, e K representa um ganho ajustável do atuador. A função de transferência $L(s)$ é de fase mínima (zeros e pólos estáveis).



O ganho K foi ajustado a priori sem considerar o atraso de transporte, de tal forma que o sistema em malha fechada correspondente fosse estável; a respectiva resposta freqüencial é representada pelas linhas contínuas nos gráficos de módulo e de fase abaixo, em função da freqüência angular. A linha tracejada em curva no diagrama de fase representa a curva real de fase em face do atraso de transporte.



- a) Justifique, com base na resposta freqüencial apresentada, por que o sistema em malha fechada real é instável para o valor de ganho K ajustado a priori. **(valor: 5,0 pontos)**
- b) Explique como é possível, a partir do valor de K proposto inicialmente, reajustar seu valor para que o sistema real em malha fechada seja estável. **(valor: 5,0 pontos)**

Dados / Informações Técnicas

- Margem de Ganho / Freqüência de corte de fase:

$$MG = \frac{1}{|G(j\omega_\phi)|} \quad ; \quad \varphi(G(j\omega_\phi)) = -180^\circ$$

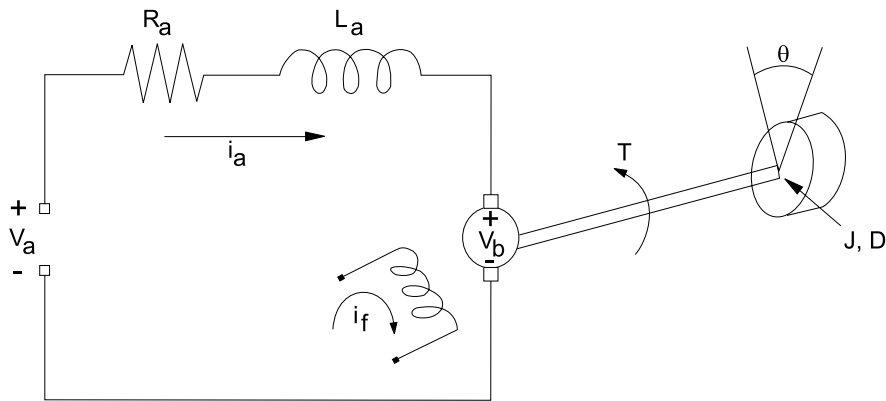
- Margem de Fase / Freqüência de corte de ganho:

$$MF = 180^\circ + \varphi(G(\omega_g)) \quad ; \quad |G(\omega_g)| = 1$$

- Atraso de Transporte Puro: e^{-sT}

- A linha reta tracejada do diagrama de fase representa o referencial de -180° .

22- AUTOMAÇÃO E CONTROLE



O motor de corrente contínua mostrado no esquema acima é controlado pela armadura e tem a seguinte representação por variáveis de estado:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10 & 0 & -50 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0,1 & 0 & -0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 100 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

O vetor de estados e a variável de controle são assim definidos:

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \theta(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix}; u(t) = v_a(t)$$

- a) Determine os autovalores associados à dinâmica do sistema em malha aberta. **(valor: 4,0 pontos)**
- b) Determine a matriz que representa a dinâmica do sistema em malha fechada, ao se utilizar a seguinte lei de controle do tipo realimentação de estados: **(valor: 2,0 pontos)**

$$u(t) = -\begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix}$$

- c) Para o sistema em consideração, descreva um método para encontrar a matriz de ganhos

$$f = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 \end{bmatrix}$$

tal que o sistema em malha fechada tenha seus autovalores definidos pelo seguinte polinômio característico:

$$\Delta_{MF} = (s+1)(s^2 + 4s + 8) = s^3 + 5s^2 + 12s + 8 \quad \text{(valor: 4,0 pontos)}$$

Dados / Informações Técnicas

Polinômio característico de uma matriz $A_{n \times n}$:

$$\Delta = \det (sI - A)$$